

**А.Н. БОРИСЕНКО**, канд. техн. наук, **П.С. ОБОД**, аспирант,  
**О.В. ЛАВРИНЕНКО**, аспирант

## **СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

У статті проаналізовані та систематизовані сучасні види та методи діагностики дизельних двигунів. Також проведений аналіз систем діагностування дизелів вітчизняних і закордонних фірм.

The paper is devoted to modern methods of diesel engine diagnosis analyze and systematization. Also, diesels diagnosis analysis of domestic and foreign companies is made.

**Постановка проблемы.** Развитие транспорта и увеличение выполняемого им грузооборота требует неуклонного повышения технико-экономических и эксплуатационных показателей энергетических агрегатов на базе дизелей. Указанные показатели, как известно, существенно зависят от технического состояния двигателя, которое в процессе эксплуатации изменяется и поэтому непрерывно или периодически должно находиться под контролем.

Для совершенствования систем диагностики дизельного двигателя необходим анализ современных средств оценки его технического состояния.

**Анализ литературы.** В рассмотренных источниках литературы [1-9] представлены выборочные обзоры инструментальных и параметрических методов диагностики. Однако целостной картины современных систем и средств диагностики не представлено.

**Цель статьи.** Необходимо выполнить анализ наиболее общих тенденций развития современных методов и средств технического диагностирования дизелей, а также произвести систематизацию и уточнить классификацию этих методов и средств.

Технико-экономические и эксплуатационные показатели неразрывно связаны с затратами на ремонт и обслуживание агрегатов в процессе их эксплуатации, которые могут быть довольно большими. В то же время из-за несовершенства методов и средств технического обслуживания порой создаются ситуации, когда значительное число машин направляется на ремонт необоснованно.

Решением этих проблем являются средства технической диагностики.

В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам совершенствования систем диагностического обеспечения на основе использования современных методов моделирования и компьютерных средств с целью повышения эффективности оценки технического состояния и своевременного выявления неисправностей. Этот процесс требует проведения исследований системы дизельной установки (СДУ) как объекта диагностирования и разра-

ботки необходимых моделей и алгоритмов оценки их состояния, призванных повысить надежность работы СДУ [1].

Особенность построения описанных средств во многом определяются спецификой объекта диагностики и информативностью выбранных диагностических параметров. Поэтому наиболее важными составными частями технической диагностики являются следующие:

- а) изучение объектов диагностики;
- б) построение и анализ математических моделей объектов диагностики;
- в) синтез средств технической диагностики.

Современные разработки в целом позволяют справиться с поставленной задачей, но обладают следующими недостатками:

- высокой стоимостью;
- отсутствием мобильности;
- низкой точностью и достоверностью полученных результатов;
- морально устаревшей технической базой;
- небольшим числом съемных параметров [2].

Существуют два принципиальных метода диагностики дизельных двигателей: параметрический и инструментальный.

Параметрический метод технической диагностики заключается в периодическом или непрерывном наблюдении за рабочими параметрами СТС с помощью штатных средств технической диагностики (СТД), в сравнении их с допустимыми величинами и принятии решений по выполнению регулировочных или ремонтных операций. Оценку технического состояния средств технической системы (СТС) в этом случае проводят как по частным, так и по обобщенным показателям.

Частные показатели оцениваются по соответствующим штатным приборам.

К обобщенным показателям относятся выходные показатели назначения СТС, такие как мощность, производительность, удельный расход энергии или топлива и т.п.

Как частные, так и обобщенные показатели не могут указывать на причину их изменения без дополнительных исследований других диагностических параметров. Так, повышение эксплуатационной мощности главного двигателя по сравнению с номинальной может произойти из-за обрастания корпуса, повреждения гребного винта, разрегулировки рабочих органов двигателя и других причин [1].

Таким образом, параметрический метод не следует рассматривать как основной для технической диагностики и он должен использоваться только в сочетании с другими методами.

Инструментальный метод технической диагностики заключается в оценке технического состояния деталей и узлов с помощью универсальных или специализированных мерительных инструментов, как правило, на неработающем или частично разобранном дизеле [2].

Этим методом, прежде всего, оценивают зазоры в подшипниках с помощью щупов или индикаторных головок путем перемещения сопряженных деталей. В частности, так определяют расклепы коленчатых валов, т.е. изменение расстояний между щеками при его повороте вокруг оси, характеризующие качество укладки вала в постелях подшипников. При инструментальных методах часто используются оптические приборы - эндоскопы, предназначенные для осмотра внутренних полостей без разборки для обнаружения повреждений и отложений, например у втулок, поршней и клапанов дизелей.

Метод диагностирования по герметичности замкнутых полостей широко применяется при опрессовке сосудов и деталей, работающих под давлением. В качестве рабочей среды могут использоваться воздух, газы и жидкие вещества (вода, масло и др.). Суть метода состоит в контроле утечек из исследуемых полостей рабочей среды, которая нагнетается туда под определенным давлением [3].

Контроль утечек может выполняться разными методами с применением универсальных или специальных СТД. Один из них заключается в контроле скорости падения давления с помощью манометра, другой с изменением окраски смоченной в фенолфталеине ленты под воздействием аммиака, проникающей через неплотности и щели.

Для дефектации некоторых систем, в том числе и неработающих, применяются течеискатели. Имеются течеискатели, основанные на измерении ультразвука, возникающего при протекании рабочей среды через неплотность.

Метод диагностики по герметичности замкнутых полостей положен в основу специализированных приборов - пневмоиндикаторов, позволяющих качественно оценить техническое состояние цилиндропоршневой группы по трем уровням - плохо, удовлетворительно и хорошо, но без определения причин снижения компрессии и прогнозирования остаточного ресурса [4].

Виброакустические методы технической диагностики охватывают широкую область использования средств измерения низкочастотных и высокочастотных колебаний СТС и их элементов, возникающих при их работе или работе других машин и механизмов.

Средства для измерения колебаний можно условно разделить на четыре группы:

- приборы сейсмического типа для записи низкочастотных колебаний;
- приборы энергетического типа для измерения и записи высокочастотных колебаний;
- дефектоскопы, т.е. приборы - для оценки дефектов с помощью ультразвука;
- приборы для измерения знакопеременных деформаций тензометрического типа [5].

Принцип действия приборов сейсмического типа основан на измерении перемещения относительно друг друга легкой и массивной частей, связанных между собой высокоподатливой пружиной.

При этом массивная часть (масса в вибрографе и маховик в торсиографе) при измерении остается практически неподвижной благодаря высокой инерционности, а легкая часть совершает колебания вместе с поверхностью СТО.

К средствам измерения колебаний относятся торсиографы, виброметры и вибрографы, приборы ударных импульсов, шумомеры с комплектом датчиков и фильтров, а также универсальная аппаратура для тензометрирования деталей машин, комплектуемая из датчиков - тензорезисторов, усилителей, осциллографов и другой аппаратуры [6].

Торсиографы предназначены для записи тангенциальных (крутильных) колебаний вращающихся масс (например, валов и маховиков) вокруг своей оси.

Вибрографы записывают вибрацию, т.е. линейные механические колебания (перемещения) точек поверхности СТС в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Следует отметить, что наиболее объективные результаты измерения вибрации можно получить лишь на специально оборудованных мягкими подвесками стендах. Поэтому вибрационная диагностика может быть только сравнительной и заключаться в периодическом наблюдении за изменением вибрационных параметров.

В основе технической диагностики универсальными приборами лежит сравнение спектрограмм с эталонной виброграммой, записанной на полностью исправном дизеле по специально разработанной методике для каждого конкретного случая. Такой метод применен в [6], где производится техническая диагностика системы клапанного газораспределения дизеля путем сравнения виброграммы, снятой на неисправной системе с эталонной виброграммой.

Методы оценки износа по содержанию металла в масле и выхлопных газах предназначены в основном для интегрального диагностирования технического состояния цилиндропоршневой группы и подшипников двигателей внутреннего сгорания. Сущность метода заключается в том, что продукты износа этих деталей в виде мелких частиц попадают в масло или выхлопные газы, количество которых и определяет техническое состояние оборудования.

Контроль продуктов износа в смазочном масле можно осуществлять различными способами:

- спектральным анализом осадка в пробе масла;
- методом радиоактивных изотопов;
- вихревым индикатором.

Метод спектрального анализа позволяет определять величину абсолютного износа сопрягаемых деталей и скорость их изнашивания. Сущность метода базируется на эмиссионной спектроскопии с помощью:

- кварцевого спектрографа для фотографирования спектров;
- генератора для получения дуги переменного тока;
- спектропроектора для расшифровки спектрограмм;
- микрофотометра для фотометрирования спектральных линий исследуемых элементов.

Метод радиоактивных изотопов основан на повышении количества радиоактивного изотопа в масле из-за изнашивания активированных деталей. Активация деталей может осуществляться:

- введением радиоактивного изотопа при их отливке;
- облучением деталей нейтронами в атомном реакторе;
- нанесением на поверхность детали радиоактивного электролитического покрытия;
- введением вставок – свидетелей.

Метод вставок получил наибольшее распространение. Вставки изготавливаются из проволоки, состоящей из кобальта (44%), никеля (54%), углерода, магния и фосфора. Проволока облучается нейтронами в атомном реакторе, что создает радиоактивный изотоп с атомной массой 60.

Радиоактивность измеряют счетчиками Гейгера-Мюллера или сцинтилляционными счетчиками.

Более перспективным методом оценки продуктов износа в масле является применение специальных вихревых (электромагнитных) индикаторов [10].

В вихревом индикаторе используются высокочастотные колебания тока, которые подаются на измерительный мост, в одно из плеч которого введена катушка индуктивности, а в другие - элементы настройки по модулю и по фазе. С их помощью мост балансируется, и сигнал с его выхода на измерительный прибор не поступает.

При введении в полость катушки индуктивности пробы масла с частицами металла мост разбалансируется и сигнал дисбаланса после усиления поступает на измерительный прибор. Такой индикатор позволяет оценивать износы втулок, колец и поршней, но его чувствительности недостаточно для оценки низких скоростей изнашивания коленчатого вала.

Продукты износа цилиндровых втулок и поршневых колец попадают не только в масло, но и в выхлопные газы. При этом на номинальной частоте вращения доля частиц износа в выпускных газах составляет до 2/3 общего износа (1/3 попадает в масло). Комплексный анализ выпускных газов заключается в следующем:

1) Пробу выпускных газов охлаждают и образовавшийся при этом конденсат собирают в сосуд.

2) По кислотности конденсата и содержанию в нем частиц железа можно судить о скорости изнашивания колец и втулок [7].

Диаграмма видов и методов диагностики ДВС представлена на рис.1.

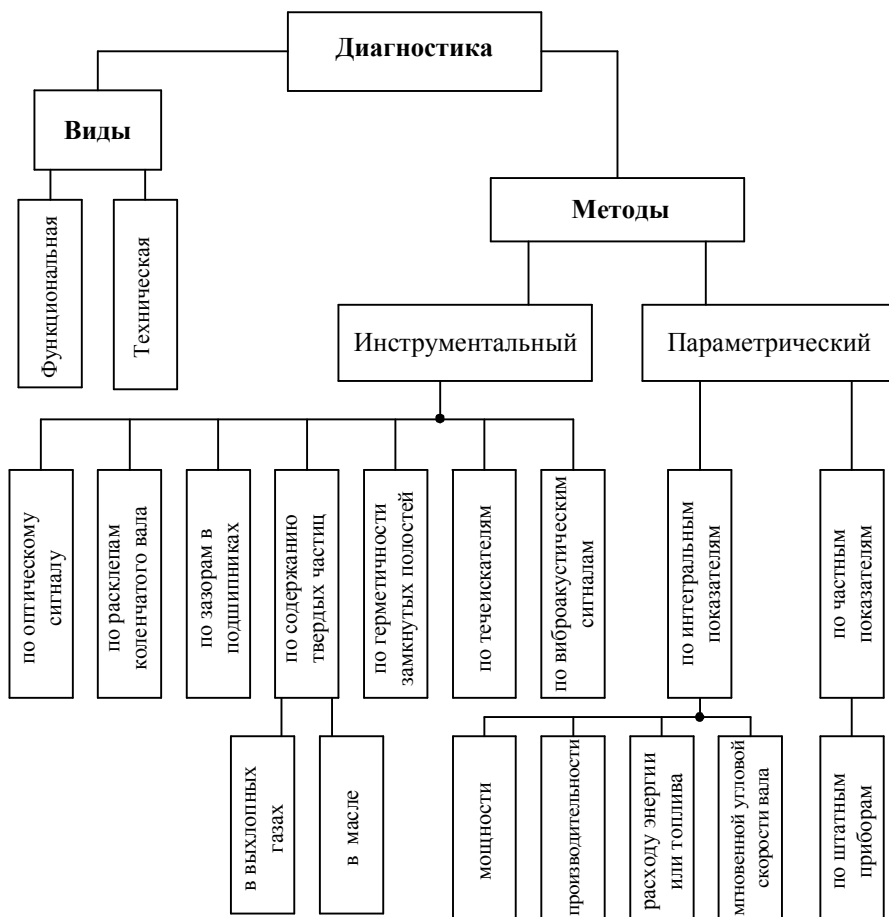


Рис. 1. Диаграмма видов и методов диагностики ДВС

Системы двигателей внутреннего сгорания (СДВС) состоят из многочисленных деталей и узлов, подверженных различным видам повреждений, для оценки степени развития которых (без разборки машины) требуются специальные средства и методы ТД. При этом надо иметь ввиду, что не все виды повреждений могут быть обнаружены современными средствами (например, трещина под буртом цилиндровой втулки).

Диагностированию в основном доступны повреждения износового вида, развитие которых сопровождается изменением рабочих параметров машин или каких-либо физических полей (электрических, магнитных, акустических, тепловых и т.п.) и параметров (герметичности, зазоров и др.).

При функциональной диагностике СДВС в целом во время нормальной эксплуатации механиками по штатным приборам контролируются все теплотехнические параметры, включая температуру выхлопных газов по цилиндрам с помощью встроенных термометров и работу газов в цилиндрах с помощью индикаторов типа "Майгак" или максиметров. Поддержание этих параметров в требуемых пределах осуществляется в основном за счет регулировки или обслуживания топливной аппаратуры (чистка форсунок, регулировка угла опережения подачи топлива и др.) [9].

Для более точной оценки качества рабочего процесса в цилиндрах путем анализа индикаторных диаграмм промышленность выпускает специальные приборы, включающие в себя пьезоэлектрические датчики давления и вычислительные блоки.

Для целей диагностирования любую СДУ можно представить как систему с множествами входных ( $Y$ ), выходных ( $Z$ ) и внутренних ( $Q$ ) переменных (рис. 2).

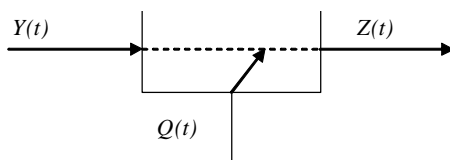


Рис. 2. Обобщенная модель диагностируемого объекта

При этом оценку технического состояния можно рассматривать как задачу нахождения скрытой зависимости между выходными и входными переменными вида:

$$Z(t) = f[Y(t), Q(t)],$$

где  $Y(t) = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  - множество входных переменных, отражающих режимные состояния и состояния внешней среды;  $Z(t) = (z_1, z_2, \dots, z_m)$  - множество выходных переменных, характеризующих процесс функционирования и сопутствующие процессы (нагрев, шум, вибрация);  $Q(t) = (q_1, q_2, \dots, q_k)$  - множество внутренних (прямых, материально-структурных) показателей технического состояния.

Можно использовать другое правило преобразования, называемое правилом диагностирования

$$Q(t) = f[Y(t), Z(t)].$$

Данное выражение позволяет принципиально оценить множество внутренних показателей технического состояния на основе совместного анализа множеств входных и выходных переменных, однако объем вычислений при этом будет весьма большим. В то же время развиваются современные методы и компьютерные средства, в том числе методы искусственного интеллекта, которые можно применить для решения сложных многосвязных нелинейных задач. Так, например, нейронная сеть с

прямой связью и несколькими скрытыми слоями может аппроксимировать сложные функции любого вида.

Отечественные и зарубежные фирмы предлагают современные системы диагностирования дизелей, которые наряду с оценкой теплотехнических параметров осуществляют контроль износа втулок и состояния поршневых колец, температуры деталей цилиндропоршневой группы, состояния турбокомпрессора, давления топлива перед форсункой, крутящего момента и концентрации масляных паров в картере двигателя.

Подобные системы разработаны такими известными фирмами, как "Норконтрол", "Зульцер", "Мицубиси дзюкеге", "Симоне", АСЕА, "Сигма" и др. Отличительным признаком современных диагностических систем является применение глубоко развитых интеллектуальных систем анализа и обработки данных, построенных на новейшей микропроцессорной базе и допускающих оперативную перенастройку и коррекцию рабочих программ в ходе их эксплуатации.

Современные отечественные дизель-генераторы представлены продукцией производства ОАО "Юждизельмаш" [10]. Для автоматизации контроля и управления дизельной электростанцией агрегаты комплектуются аппаратурой 1ШЩ-3 или 1ШЩ-3С.

**Выводы.** При контроле технического состояния дизелей в настоящее время наблюдается две основных тенденции:

- 1) получать диагностические признаки путем простой обработки большого числа измеряемых параметров;
- 2) получать указанные признаки путем сложной обработки малого числа измеряемых параметров.

**Список литературы:** 1. *Станиславский Л.В.* Техническое диагностирование дизелей. – Киев, Донецк, Высшая школа. 2. *А.Н. Борисенко, к.т.н., П.С.Обод, аспирант и др.* Имитационное моделирование девиации угловой скорости вала дизель-генератора и получение информативных параметров для системы управления и диагностики на базе гистограммного анализа // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – вып.31. 3. Материалы дипломного проекта *Заболоцкого В.Н.*, руководитель к.т.н., проф. *Савельев А.Г.* <http://www.polarcom.ru/~vvtsv/diagn01.htm>. 4. *Okude; Keiichi.* Control device for a diesel engine. United States Patent Application 20060219214. October 5, 2006. 5. *Ф.Я.Балийкий, М.А.Иванова, и др.* Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов - М.: Наука, 1984. 6. *Mick Corse*, Diagnostic valve system of diesel engine. United States Patent Application 6705258. Mar.16, 2004. 7. *Kumar; Sanath V.*; DOC and particulate control system for diesel engines December United States Patent Application. 21, 2005. 8. *Uchiyama; Ken*; United States Patent Application 20060054132. March 16, 2006. 9. *Ле Ван Дием.* Модели и алгоритмы технического диагностирования судовых дизельных установок в процессе эксплуатации: диссертация к.т.н.: 05.13.06 СПб., 2006 177 с. РГБ ОД, 61:07-5/451. 10. Каталог научно-производственно-монтажного предприятия "Связьэнергосервис". [http://www.kupol.com.ua/service\\_2.html](http://www.kupol.com.ua/service_2.html).

*Поступила в редколлегию 22.12.08*